



Title	クラック形成後の斜面積雪の挙動 : クラック開口速度の観測
Author(s)	秋田谷, 英次; AKITAYA, Eizi; 清水, 弘 他
Citation	低温科学. 物理篇, 47, 25-33
Issue Date	1989-03-10
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18562
Type	departmental bulletin paper
File Information	47_p25-33.pdf



クラック形成後の斜面積雪の挙動

—クラック開口速度の観測—

秋田谷英次・清水 弘

(低温科学研究所)

(昭和63年10月受理)

I. ま え が き

全層雪崩は春先に多く発生するが、条件さえととのえば真冬でも発生する。斜面積雪の底面滑り(グライド)が活発であると、斜面上縁付近の積雪に割れ目(クラック)が形成され、やがて雪崩に至ることがある。北海道に多く見られる、笹に覆われて樹木の少ない斜面では、最初の降雪で笹が倒伏し、初冬から全層雪崩が発生することがある¹⁾。通常の冬では最初から笹が倒伏してしまうことは少なく、冬の間の僅かなグライドが蓄積され、グライドの総量が笹の長さ程度に達した頃クラックが発生している。北海道北部の山地ではクラック発生時の総グライド量として70~80 cmの値が得られている^{2,3)}。

クラックが形成されると早いものでは数時間以内に雪崩となるが、遅いものは数日経ってから雪崩となる。またクラックが形成された後、積雪のグライドが緩慢となりクラックの開口部(割れ目の斜面方向の中)があまり広がらずに積雪は安定し雪崩にならないこともある。一方、開口部が数メートルに達してからグライドが止まり雪崩にはならない事もある。

II. クラック形成後の積雪の挙動

北海道大学低温科学研究所の雪崩観測所の実験斜面(北海道大学天塩地方演習林内、幌延町間寒別)でクラック形成後の斜面積雪のふるまいを調べた。

クラック形成後も積雪のグライドが進行するとクラック下方に「こぶ」状の起伏がいくつも形成される。この起伏は凹凸のある斜面の上を積雪が単に滑るだけで形成されることが調べられている。また、特に大きな「こぶ」状起伏は積雪が斜面方向へ圧縮されてできる。すなわち、グライドが著しく小さい領域があると、そこでは積雪の移動が止められるので、斜面を滑ってきた上部の積雪は斜面方向に圧縮され、積雪層は上方に折り曲げられて大きな「こぶ」状起伏を形成する。今後、この様な起伏を「圧縮こぶ」と呼ぶことにする。

クラックの開口部が大きくなると、あるものは雪崩になるが、雪崩が発生する引金の一つとして、この「圧縮こぶ」の崩落がある。観察例としてはすでに、筆者らによるビデオテープレコーダーの映像記録がある⁴⁾。また、この研究のために測定器をクラック内にセット中にも同様の引金で雪崩が発生している。

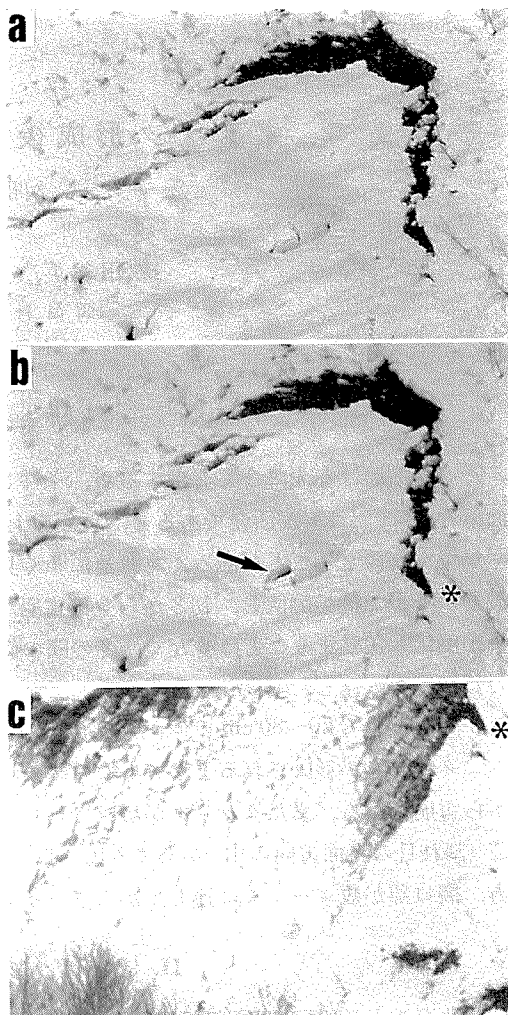
* 北海道大学低温科学研究所業績 第3177号

1987年4月3日午後2時頃、上に述べた雪崩観測所付近の一つの南斜面に2mあまり口を開いていたクラックを選んだ。グライド計をセットするため、一名がクラック内に入り、他の一名はクラックの形状を調べるため、対岸尾根から写真を撮っていた。クラックの下方20m付近に割れ目の入った「圧縮こぶ」が見られた(第1図-a)。突然この「こぶ」が崩れ落ちると(第1図-b)数秒後に、クラックで囲まれた範囲の積雪が板状に滑りだし、ブロック状に砕けて落下した(第1図-c、測定器はまだセットしていなかったためデータは得られなかった)。

第2図はクラック形成後も雪崩落ちることなく、「圧縮こぶ」をいくつも作りながらグライドをつづけ、ついに斜面末端まで到達し、グライドが止った例である。1974年3月29日、上に述べた雪崩観測所近くの西向き斜面で観察されたもので、クラックができた後も

第1図 「圧縮こぶ」の崩落が雪崩の引金となった例

a: こぶが崩落する直前, b: 矢印がこぶの崩落したあと, c: こぶの崩落数秒後に雪崩が始まったところ, *は同一地点

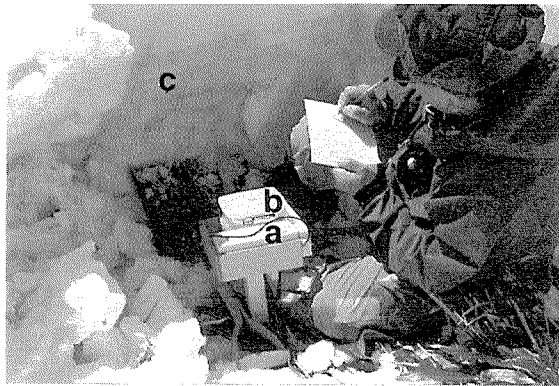


第2図 「圧縮こぶ」が崩落せずにグライドが止まった例
左中央の人間からこぶの大きさがわかる

雪崩ることなくグライドを続け、(グライドの総量は最大 50 m 以上と推定される) やがて移動した積雪は斜面末端で止まっている。「圧縮こぶ」の高さは大きなものでは 2 m 以上もあり、付近の積雪表面は歩いてても全くぬからぬ程に硬くなっていた。なお、この様な現象は珍しく、この一帯では過去 20 年あまりで 1 度しか観察されていない。

III. 開口速度の測定

10 回転で 2000 オームのポテンショメータに直径 12 cm のプーリを取り付け、積雪の移動をプーリの回転に換え、さらに電気抵抗に変換するグライド計を作製した。ポテンショメータの抵抗値は 10 分間隔でバッテリー駆動の小型データロガーに記録した(コーナ製, KADEC-U 使用)。その結果、この装置で、約 3.8 m のグライド量の時間変化が測れることになる。これらの装置を一つの箱に入れ、クラック中央の下端部に地面から 30 cm あまりの高さで木製の台に固定した(第 3 図)。プーリには糸をゆるませないため、両面粘着テープを貼りその上に丈夫な糸を 10 回転巻き付けた。プーリからでてくる糸の端に木片を取り付け、クラックの下方積雪の断面に穴を開けて埋めた。この穴はさらに雪で固く埋め戻すと 10 日あまり経っても糸



第 3 図 測定装置のセット状況

a: データロガー, b: プーリおよびポテンショメータ, c: クラック下端の積雪, プーリから出ている糸の端を雪の中に埋めたあと

はしっかりと雪に固定されていた。この装置を使って、雪崩観測所の斜面で 1987 年 4 月と 1988 年 3 月の 2 冬期計測を行った。クラックの上方から別の雪崩が発生して装置が雪崩と一緒に流されたり、データロガーの異常で記録が取れないものもあったが、2 冬期で 9 回の観測が行われた。なお、計測の終了時刻の判定は、測定器を回収したあと、データを読み取り、積雪の動きがそれ以後も止った時刻、プーリが 10 回転し測器がスケールオーバした時刻および雪崩の発生が確認されたものは、スケールオーバ直前の時刻とした。測定期間は 3~16 日間であった。

IV. 測定結果と考察

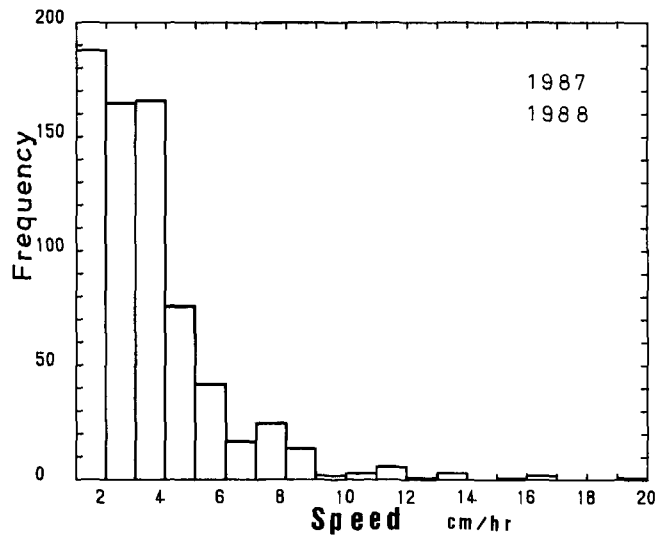
測定はクラックが適当な大きさで、かつ安全に作業ができると判断されたものについて行った。クラックの正確な形成日時は不明であり、測定開始時のクラック開口部の大きさ(斜面方向の開口距離)も 2 m から数 m 程度でまちまちであった。したがって得られた結果はクラック形成直後からの積雪の振舞いを表してはいない。活発な動きの終わり頃に測定を始めたものもあり、活発な動きの最中に測定を開始したものもあった。

クラックが形成されるとクラックの上方積雪のグライドは極端に小さくなるので、下方積

第1表 クラック開口速度別の発生頻度

速 度 V cm/hr	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	合 計 (回)
	東	北	南	東	東	南	南	東	東	
0 < V ≤ 1	148	2	156	110	119	43	49	24	2	653
1 ~ 2	50	41	3	33	28	1	1	30	1	188
2 ~ 3	4	49	3	32	28	2		34	13	165
3 ~ 4	4	43	1	28	41	1		34	14	166
4 ~ 5	1	8	2	22	26	1	1	8	7	76
5 ~ 6	3	2		14	12			4	7	42
6 ~ 7				6	2			3	6	17
7 ~ 8				3	8			2	12	25
8 ~ 9	1			3	3			3	4	14
9 ~ 10				1	1					2
10 ~ 11					2				1	3
11 ~ 12				2	4					6
12 ~ 13					1					1
13 ~ 14				1	2					3
14 ~ 15										
15 ~ 16									1	1
16 ~ 17	1			1						2
17 ~ 18										
18 ~ 19										
19 ~ 20					1					1
20 ~		1								1

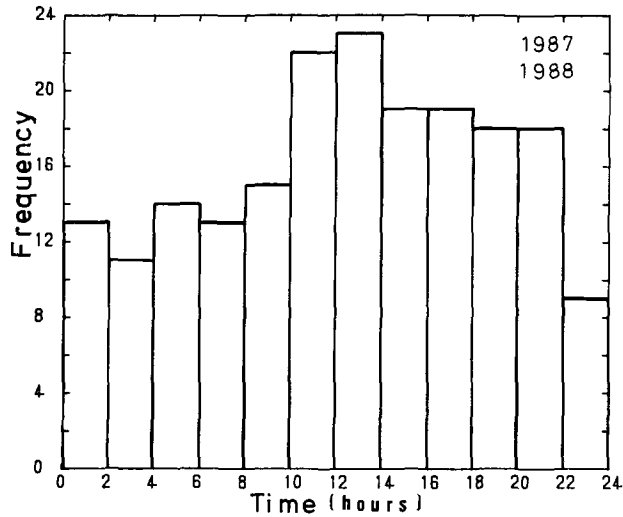
1時間毎に測った開口速度, No. 1~No. 7は1987年春, No. 8, 9は1988年春の測定, No. の下の文字は斜面方位, No. 6, 7のみ雪崩発生



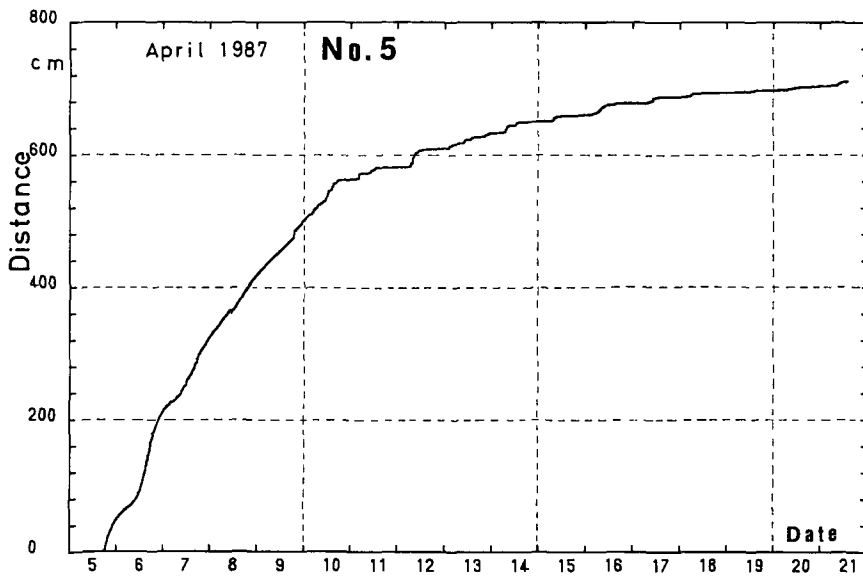
第4図 クラック開口速度の発生頻度

速度は1時間毎の値, 速度が1 cm/hr 以上について

雪の移動速度を開口速度と考えてよい。第1表は1時間間隔で読み取った移動距離から求めた開口速度 (cm/hr) である。No. 2, 8, 9は1 cm/hr 以上の速度にピークを持つが、それ以外の測定では1 cm/hr 以下の速度にピークをもっている。第4図は第1表の9つの測定について1 cm/hr 以上の速度の発生頻度を示している。小さい速度ほど多く発生し、4 cm/hr 以上の発生頻度は急に減少している。第5図は4 cm/hr 以上の大きな速度の発生時刻分布である。4 cm/hr



第5図 発生時刻の頻度
1時間毎の速度が4 cm/hr 以上について



第6図 クラック開口距離の時間変化

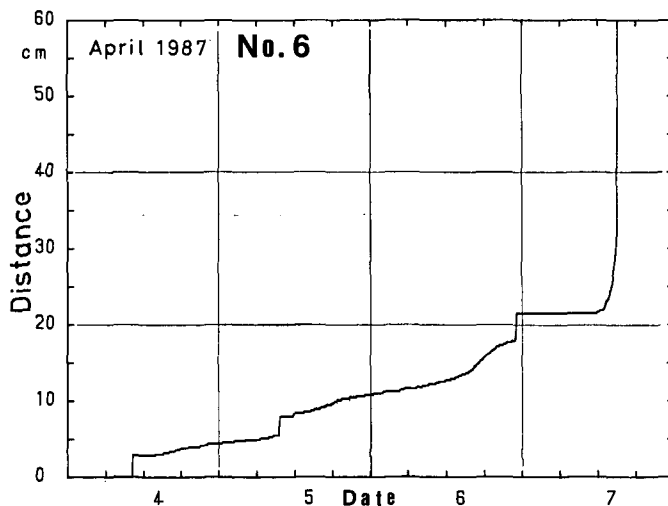
雪崩にならなかったクラックの例 (第1表 No. 5), 5~7日は午後からの動きが活発で10日以後は間欠的な動きをしている

以上の速度は10時から22時に多く発生しているが、気温や日射の影響とそれらに対し多少時間的な遅れを反映しているものと考えられる。

つぎに開口距離が大きいのに雪崩にならなかった例を示す。第1表 No. 5のクラックについて開口距離の時間変化を第6図に示した。この斜面は短い東向きの急斜面(斜面長約40 m, 傾斜角約35度)で、高さ1.5~2 mの笹に覆われており、小さな崩壊地が点在している。斜面の積雪深は1 m以上と多く、さらに尾根から大きな雪庇が発達していた。クラックは雪庇の上端、すなわち尾根付近から発生し、前年には同様な積雪状況で雪崩が発生していた。

図では開口距離が7 mに達し測器の測定範囲(3.8 m)を見かけ上こえているが、これは観測途中で測器を再セットしたためである。測定開始時にすでにクラックは2 m以上開いていたので全開口距離は10 mあまりになった。測定開始の4月5日にはすでにクラック下方に「圧縮こぶ」が形成されていた。4月5日から7日までの最初の3日間は午後からの動きが活発になった。10日を過ぎると、動きは緩慢でかつ間欠的になってきた。9日までの斜面の観察によると、「圧縮こぶ」は大小数個形成され、「こぶ」にはやがて割れ目が入るようになった。後半の間欠的な動きはこれらの「こぶ」の部分的破壊によるものと考えられる。やがて「こぶ」の大規模な破壊もなく、したがって雪崩になることなく、積雪のグライドは停止した。

開口距離が小さいのに雪崩した No. 6の例を第7図に示す(No. 7も同じクラックの測定でほぼ似た結果が得られている)。この斜面は南向きで傾斜角は約30度、高さ1 m以下の笹に覆われていた。積雪深は1 m以下で日射を受けた湿雪であった。この斜面では毎年雪崩が発生している。斜面長は200 mあまりでクラックの位置は稜線から約50 m下方で、すでに近くで雪崩が多発していた。1987年4月4日に測定器をセットしたがその時の開口距離は約1 m、クラックの破断面が新しいことからクラック形成から1日以内と推定された。測定を開始してから3日後に雪崩が発生したが、測定開始後から雪崩になるまでの移動量は60 cm程度で、測定前



第7図 クラック開口距離の時間変化

雪崩となったクラックの例(第1表 No. 6), 7日正午過ぎ30分にわたって加速し、その後雪崩となった

の開口距離 1 m を加えても全移動距離は 2 m 以下と他のクラックに比べ小さい。上に述べた No. 5 では全移動距離が 10 m になっても雪崩は起きなかった。このことから、クラックの開口距離それ自身は雪崩発生に対して臨界値を持っていないことがわかる。

雪崩が発生した No. 6 は、1 時間毎に測ったクラック開口速度は最大でも 4~5 cm/hr で、他のクラックと比較すると小さい (第 1 表)。しかし、No. 6 のクラックで雪崩が発生する直前の 10 分毎に測った速度をみると、6.8, 9.1, 14.8 cm/hr と 30 分間にわたって加速し、その後雪崩が発生している。この事実に着目して、最初の 10 分間の速度が 6.0 cm/hr 以上で次の 10 分間、すなわち 20 分後に 2 cm/hr 以上加速している例を全てのクラックにつき、抜き出して第 2 表にまとめた。さらに 30 分後に前回より加速したものはその値を示した (空欄は減速したものの)。速度が 6 cm/hr 以上で 20 分後に 2 cm/hr 以上加速した 33 例中、30 分後にも加速したものは 3 例のみであった (表の**)。このうち No. 6 では実際に雪崩が発生している。他の 2 例の No. 4, No. 9 は雪崩にならなかったが雪崩の危険性は高かったものと考えられる。また、20 分間にわたってグライド速度が加速したものについてその時間帯をみると、12 時から 20 時までの 8 時間に全体の 67% が発生し、22 時から翌朝 6 時までの 8 時間には 6% と少なくなっている。

なお、第 2 表で大きなクラック開口速度の発生頻度が高い No. 4, No. 5, No. 9 は同じ斜

第 2 表 クラック開口速度の加速状態

観測 No.	観測 開始 月/日	*		開口速度 (cm/hr)			観測 No.	観測 開始 月/日	*		開口速度 (cm/hr)		
		月/日	時刻	10分後	20分後	30分後			月/日	時刻	10分後	20分後	30分後
1	4/15	4/15	13:03	11.4	18.2				12:05	19.4	21.7		
2	4/ 6	4/ 9	7:37	8.0	10.3				15:55	8.0	20.5		
4	4/ 4	4/ 5	17:38	16.0	18.3				4/10 12:05	8.0	17.1		
			18:28	13.7	16.0		6	4/ 4	4/ 7 14:31	6.8	9.1	14.8**	
			19:48	10.3	12.5		8	3/17	3/19 15:49	6.8	9.1		
		20:58	8.0	10.3				3/21 9:09	6.8	9.1			
		4/ 6 11:38	6.8	14.8	17.1**	9	3/17	3/18 9:38	6.8	10.3			
5	4/ 4	4/10	13:08	6.8	9.1				23:08	6.8	58.1		
			4/11 2:08	10.3	32.0				3/19 8:38	6.8	14.8		
			4/ 5 18:15	9.1	13.7				12:28	6.8	9.1		
			4/ 6 11:25	8.0	16.0				13:28	10.3	12.5		
			14:55	13.7	17.1				14:38	6.8	9.1	11.4**	
		16:15	12.5	18.2				16:18	6.8	11.4			
		17:05	13.7	40.0				17:38	10.3	14.8			
		17:55	10.3	12.5				19:28	10.3	21.7			
		18:25	11.4	18.2				21:58	6.8	9.1			
		4/ 7 10:25	8.0	14.8									

速度は 10 分間の移動距離から時速 (cm/hr) に換算したものの、最初の 10 分間の速度が 6.0 cm/hr 以上で、次の 10 分間 (20 分後) に 2 cm/hr 以上加速したものを示した。* は最初の 10 分間の速度が 6.0 cm/hr となった日時。** は 30 分後の速度が前回より加速したものの。No. 6 で雪崩発生

面のクラックである。この斜面では1986年3月に雪崩が発生しているが測定を行った1987、1988年には雪崩にはならなかった。

V. ま と め

春先の斜面でよく見られる積雪のクラックは全層雪崩の前兆現象である。しかし、これらのクラックが全て雪崩になるとは限らない。また、クラックが形成されてから雪崩にいたる経過も明らかでない。そこでクラックが形成された後の積雪の動きを測定し全層雪崩発生にいたる経過を調べた。

第6図に示したクラックでは開口距離が10 m 余りに達しても雪崩は起きなかったが第7図のものでは、開口距離が2 m 程度で雪崩となった。したがってクラックの開口距離だけから雪崩発生の危険度を予知することはできない。

第1図に示した様に、クラック下方の「圧縮こぶ」の破壊は全層雪崩発生の引金の一つである。一般に、積雪の圧縮破壊は圧縮速度に依存することが知られており⁵⁾、このことからクラックの開口速度が大きくなると雪崩の危険が高くなることが考えられる。10分毎の開口速度(時速換算, cm/hr)を調べた結果、開口速度がある程度(例えば6 cm/hr)以上大きく、かつ加速状態が30分程度継続した場合、雪崩発生の危険性が高くなっていると考えられた。

今回の観測では9つのクラックの内、雪崩が発生したのは1例のみであった。雪崩発生の予知のためにはさらに多くの観測例と、斜面や積雪状況およびクラックの形態とその変化、さらにそれらと気象条件との関係を調べる必要がある。

おわりに、本研究に御協力いただいた北海道天塩地方演習林の方々に感謝いたします。なお、この研究の費用は文部省雪崩事業費から支出された。

文 献

- 1) 秋田谷英次 1977 積雪の映像化. 雪氷, **39**, 43-49.
- 2) 遠藤八十一・秋田谷英次 1976 斜面積雪の挙動の研究 —「こぶ」状起伏の形成とその機構—. 低温科学, 物理篇, **34**, 99-110.
- 3) Endo Y. 1983 Glide processes of a snow cover as a release mechanism of an avalanche on a slope covered with bamboo bushes. Contr. Inst. Low Temp. Sci., A, **32**, 39-68.
- 4) Akitaya E. 1980 Observations of ground avalanches with a video tape recorder. J. Glaciol., **26**, 94, 493-496.
- 5) 木下誠一 1957 積雪における変形速度と二つの変形形式(塑性変形, 破壊変形)との関係. 低温科学, 物理篇, **16**, 139-166.

Summary

The movements of a snow cover along a ground surface on a mountain slope after formation of a crack were observed. A large compressive bump-shaped undulation caused by the glide movement appearing on the slope under a portion of the crack and a failure of the undulation immediately gave rise to a full depth avalanche as shown in Fig. 1. On the other hand, it was observed that sometimes making several large undulations, the snow cover moved downwards on the slope without failures of the undulations and without any avalanches as

shown in Fig. 2.

An apparatus for measuring a snow glide was set in a crack as shown in Fig. 3. Movement of the snow cover was transferred to the value of electric resistance measured by the potentiometer with the axis attached with a pulley 12 cm in diameter capable of rotating ten times, around which a thread was wound on, the end of thread having been fixed in a gliding snow. The electric resistance was recorded every ten minutes on a data recorder.

Nine series of recording were obtained during the two winters, 1986-87 and 1987-88. Table 1 shows the gliding speed measured at an interval of one hour cm/hr. In these observations a full depth avalanche generated at only one crack (Nos. 6 and 7) with a small amount of glide movement but at other cases glide motion stopped without an avalanche despite a large value of glide distance. Shown in Figs. 4 and 5 are, respectively, the frequency of occurrence of gliding speed against the speed larger than 1 cm/hr, and the frequency of the same against the time at which the snow started gliding at the speed larger than 4 cm/hr. The two figures show that the frequency of gliding speed rapidly decreases with increasing speed and the number of occurrence of gliding speed larger than 4 cm/hr occurred fairly frequently between noon and 10 p.m.

Cumulative gliding distance from the start of measurement with time is shown in Fig. 6 (No. 5 in Table 1), where it attained more than 7 meters making several large compressive undulations without an avalanche and finally the movement stopped. On the other hand, an avalanche occurred at the cumulative distance of 0.6 meters, as shown in Fig. 7 (No. 6 in Table 1). The total gliding distance from the occurrence of the crack reached about 10 meters at No. 5 and 2 meters at No. 6, respectively. From the analysis of gliding speed calculated at one hour interval, the speed is smaller in the case of an avalanche shown in Fig. 7 than in other cases without avalanches as in Fig. 6. We can conclude from the results that the glide distance and glide speed at one hour interval does not have a direct connection with avalanche occurrences.

Comparing of glide speed every ten minutes between avalanched and not avalanched cases some typical differences can be recognized. Increase in gliding speed to a fairly large value continued during 30 minutes as 6.8, 9.1 and 14.8 cm/hr every ten minutes; and the avalanche occurred during the following 10 minutes. Table 2 shows the gliding speed every ten minutes larger than 6.0 cm/hr and the gliding speed which increased by 2 cm/hr after 20 minutes and also shows the speed after 30 minutes if it increases more than previous values. Among the 33 cases in Table 2, only three cases continued to increase the speed during the period of 30 minutes as marked **. An avalanche occurred practically at No. 6 marked ** in the three cases. It is considered there were also high possibilities of avalanche occurrence in other two cases marked **.

Table 2 shows that 67% of the time of the occurrence of 33 cases was during eight hours from noon to 8 p.m. and 6% from 10 p.m. to 6 a.m. The result shows that glide motion is activated by high air temperature and sunshine with some time-lag avalanche activity grows up when a fairly large glide speed continues to increase during the time of 30 minutes.